

脆弱層接近時の TBM 掘進フローの策定・運用

西松建設（株）技術研究所 正会員 山下雅之、石山宏二、木村 哲
西松建設（株）中部支店 石井正典
東京大学工学系研究科 正会員 福井勝則

1. はじめに

TBM 掘削時に切羽前方地山に存在する断層破碎帯などの地山脆弱層を事前かつ正確に把握することは、TBM の利点である高速施工を確保する上で非常に重要である。最近では TBM に装備された削岩機を利用した探査（穿孔探査）が多用されているが、TBM の高速施工を確保するために 1 回の探査で約 50m 区間の探査を 1 ヶ所（孔）とする場合が多い¹⁾。このような適用方法では点（線）のデータしか得られず、不規則な形状で分布する脆弱層などを対象とした場合、その正確な位置予測は難しい。このような問題を解決するため、本研究では TBM 掘削データを脆弱層の接近予測に利用する手法について検討するとともに、その結果を穿孔探査の適用頻度に反映させ、最終的に補助工法の可否・程度まで決定し得るような TBM 掘進フローの策定を試みた。

2. 対象トンネルの概要

対象としたトンネルは中部縦貫自動車道高山清見道路小鳥トンネル（牧ヶ洞工区）の TBM で避難坑である。本工区が掘削する避難坑は全長約 3.0km であり、このうち約 2.8km 区間を TBM で掘削する。使用された TBM はφ4.5m の改良オープンタイプであり、前方探査および補助工法用に油圧式削岩機が装備されている。トンネル周辺には濃飛流紋岩類およびそれに伴う花崗斑岩が広く分布しており、跡津川断層に関連して派生した断層が数条分布している。

3. 切羽前方地山の予測手法

(1) 穿孔探査（DRISS）

穿孔探査では、図 1 に示すような穿孔データが得られる。この中で、地山性状の推定には主として穿孔エネルギーおよびダンピング圧データが利用される。ダンピング圧とは穿孔時に削岩機が岩盤より受ける反力を示しており、穿孔エネルギーは単位体積あたりの地山を穿孔するのに削岩機が要する仕事量を示している。なお、これらの値が低い程脆弱地山と判断される。

(2) TBM 掘削データ

TBM 掘削時に得られる機械データのうち、とくに地山性状と密接に関連しているとされる項目を図 1 に示す。今回はこれらのデータをもとに推定岩盤強度を算出する手法²⁾を採用した。この手法では、次式によって推定岩盤強度が算出される。

$$\sigma_c = F_N / (C_1 \cdot p) = T_R / (C_2 \cdot p^{1.5}) \quad (1)$$

ここで、 σ_c ：推定岩盤強度（MPa）、 F_N ：スラスト推力（kN）、 T_R ：カッタトルク（kN-m）

p ：カッタ貫入量（mm/rev）、 C_2 , C_1 ：TBM の仕様による定数

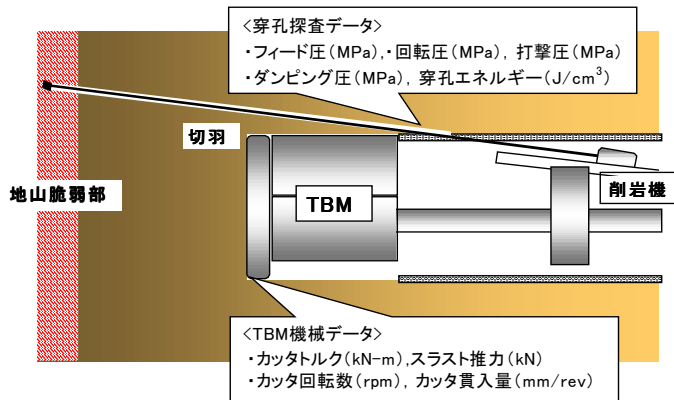


図1 切羽前方地山の予測手法

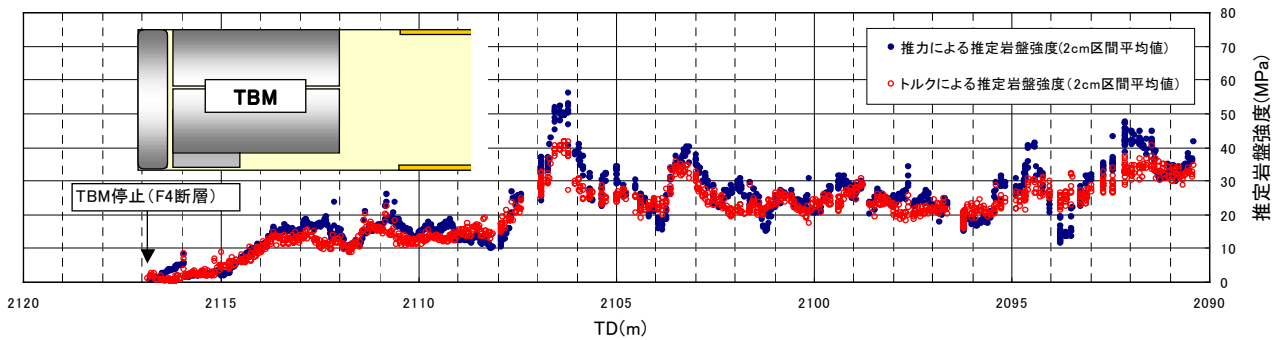


図2 F4断層付近の推定岩盤強度

TBM掘削データの利用法としては、1ストローク区間（1.5m程度）の平均値を用いた既掘削区間の地山性状の把握や支保パターン、地山崩落度の推定などが一般的である。これを脆弱層接近の察知に利用する場合、1ストローク掘進後の判断では手遅れになる可能性がある。そこで、掘削データ（推定岩盤強度）を約2cmという詳細区間の平均値として計測・表示させ、数cmオーダーで地山性状の変化をリアルタイムで監視し得るシステムを新たに構築した。

4. TBM掘進フロー

掘削時に得られる推定岩盤強度データから脆弱層接近の判断基準について検討するために、本トンネルの過去における脆弱層（F4、5断層）出現時の掘進データについて、今回構築したシステムと同様の条件（2cm区間平均値）で再計算を実施した。ここで、検討した断層は湧水を伴う不規則な形状の脆弱層であり、通過時には地山崩壊や拘束によって長期間TBMが掘進不能状態となった地点を示す。図2はF4断層周辺のデータを示しているが、この図2から明らかなように、TBM停止地点の約2~3mおよび約9m手前の地点において推定岩盤強度の特徴的な低下（それぞれ約5, 18MPa）が認められた。また、F5断層周辺もほぼ同様な推定岩盤強度の変化を示していた。

以上の結果より、本工区では掘削時の推定岩盤強度が18MPa、少なくとも10MPaを連続して下回った時点においてTBMを停止し、追加の穿孔探査や補助工法の実施を適切に行えば、今後の掘進時に同様の脆弱層が出現しても掘進不能となる事態は回避することができると考え、図3に示すような脆弱層接近時のTBM掘進フローを策定した。

5. まとめ

一般に、地山性状の悪化によりTBMが掘進停止に追い込まれた場合、停止期間が長期化することが多い。このような事態を避け、全工程にわたって安定した掘進を確保するためには、今回策定したような掘進フローの適用が不可欠である。現在、小鳥トンネルにおいて本フローを適用しながら掘進を進めている。今後は、ここでの適用事例を参考にして掘進フローの更なる改善に努める必要がある。

謝辞：本研究を進めるにあたり、ご指導ならびにご協力いただいた国土交通省中部地方整備局高山国道工事事務所および西松建設・飛鳥建設共同企業体の方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山下, 石山, 木村, 明石, 岡田, 福井: 穿孔探査法のTBM掘削への適用, 第11回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 2002.
- 2) 福井, 大久保, 小田: TBMの掘削抵抗に関する研究, 第30回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp303-307, 2000.

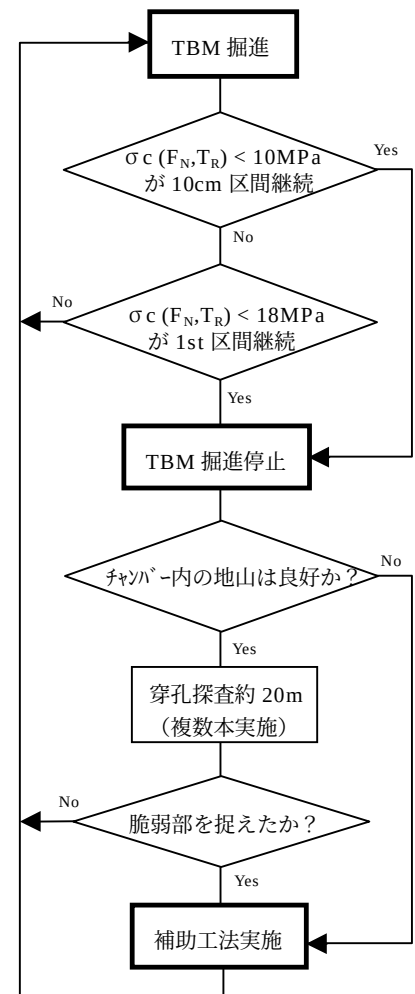


図3 TBM掘進フロー